

# EFECTOS MEDIOAMBIENTALES E IMPACTO DE LA ACTIVIDAD MINERO-METALÚRGICA EN LA PREHISTORIA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: APORTACIONES Y NUEVOS DATOS DESDE EL ÁMBITO DEL UNIVERSO EMPÍRICO PORTUGUÉS

Environmental Effects and Impact of Mining-Metallurgical Activity in the Prehistory  
of the Iberian Peninsula: Contributions and New Data from the Scope of the  
Portuguese Empirical Universe

MOISÉS RODRÍGUEZ BAYONA \*, FRANCISCO NOCETE\*, NUNO INÁCIO \*,  
JOSÉ MIGUEL NIETO \*\*, REINALDO SÁEZ \*\*, JOAQUÍN DELGADO \*\*,  
ANA PERAMO \*

**RESUMEN** La investigación arqueológica desarrollada en los últimos años en el entorno de la Faja Pirítica Ibérica ha dibujado el perfil de una economía tecnológica y socialmente especializada en la minería y metalurgia del cobre durante el III milenio Anterior a Nuestra Era. Su magnitud y extensión han sido determinadas mediante indicadores directos e indirectos de su ejecución que revelaron un proceso de deforestación gradual causante de la erosión de los suelos y el incremento de la contaminación por metales pesados en las cuencas hidrográficas de los ríos Guadalquivir, Tinto, Odiel, Guadiana y, por extensión, en el Golfo de Cádiz. Este trabajo completa el análisis sobre el impacto de la actividad metalúrgica en cronologías prehistóricas mediante la presentación de nuevos datos y casos de estudio (Algarve portugués y cuenca del río Guadiana) que permiten definir la escala, intensidad y diacronía de su proceso.

**Palabras clave:** III Milenio A.N.E., SO Península Ibérica, Río Guadiana, Algarve, Minería, Metalurgia, Impacto Ambiental, Geoarqueología.

---

\* Área de Prehistoria, Departamento de Historia I, Facultad de Humanidades, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, Avda. Fuerzas Armadas s/n, 21071, Huelva. *moises.rodriguez@dhis1.uhu.es, nocete@uhu.es, nuno.inacio@dhis1.uhu.es, anaperamo@hotmail.com*

\*\* Área de Cristalografía y Mineralogía, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, Avda. Fuerzas Armadas s/n, 21071, Huelva. *jmnieto@uhu.es, saez@uhu.es, joaquin.delgado@dgeo.uhu.es*

Fecha de recepción: 22-01-2013. Fecha de aceptación: 28-06-2013.

**ABSTRACT** The archaeological research undertaken during recent years in the Iberian Pyrite Belt has revealed the contours of an economy technologically and socially specialized in copper mining and metallurgy that had developed during the III millennium B.C.E. Its magnitude and reach has been determined through direct and indirect markers that reveal a gradual process of strong deforestation that caused soil erosion and an increase of heavy metal contamination in the river basins (Guadalquivir, Tinto, Odiel, Guadiana) and thus by extension into the Gulf of Cádiz. This work completes the analysis of the impact of metallurgical activity in prehistoric chronologies by presenting new data and study cases (South of Portugal and Guadiana river basin), defining the scale, intensity and diachrony of the process.

**Key words:** III millennium B.C.E., SW Iberian Peninsula, Guadiana River, Algarve, Mining, Metallurgy, Environmental Impact, Geoarchaeology.

## INTRODUCCIÓN

El análisis de la primera metalurgia del cobre, de su escala, intensidad y desarrollo tecnológico, ha sido vinculado, desde sus inicios, al estudio de la complejidad social en la disciplina arqueológica. El marco teórico-metodológico en el que se inició la investigación de la actividad metalúrgica determinó que ésta fuese tomada como termómetro del nivel de desarrollo de las sociedades y, en este marco, la región más occidental de Europa, el suroeste de la Península Ibérica, era interpretada en base a un paradigma que le atribuía en dicho proceso una eterna discapacidad, justificando su eterno papel secundario y dependiente, con argumentos que defendían un reducido desarrollo tecnológico y social de la metalurgia, caracterizada como una actividad de producción a escala doméstica, definida por la ausencia de niveles de división espacial del trabajo, por la ausencia de técnicas y tecnología de producción sofisticada y, en general, por su casi invisible impacto. Sin embargo, y por el contrario, las metalurgias de Oriente (incluidas las europeas), eran definidas casi por oposición (Champion *et al.*, 1984; Chapman, 1990; Cunliffe, 1994; Delibes y Fernández, 1993; Gills, 1995; Gills y Frank, 1993; Gilman, 1991, 1996; Montero, 1993; Rothenberg, 1990; Rovira, 2002).

Refutado en numerosas ocasiones (Bayona, 2008; Cámara y Molina, 2006; Chapman, 2003, 2008; Molina y Cámara, 2005; Nocete, 2001, 2004, 2006; Nocete *et al.*, 2005 a, b, 2008, 2010, 2011; Perámo y Nocete, 2010), este paradigma se sostenía bajo falsos supuestos y premisas, uno de los cuales identificaba la ausencia de registros metalúrgicos con la ausencia de actividad de producción de cobre y asumía que las diferencias tecnológicas entre Oriente y Occidente eran parámetros situados al mismo nivel, sin tener en cuenta las diferencias absolutas de cronología (Costa, 2011; Nocete *et al.*, 2011). Junto a ello, la ausencia de programas sistemáticos e interdisciplinarios de investigación acabó propiciando la metodológicamente inadecuada evaluación y comparación de contextos arqueológicos —supuestamente— vinculados a la actividad metalúrgica con la de los contextos de su consumo (incluso el funerario) y, además de nuevo en distintos rangos cronológicos.

Este paradigma, disciplinar y disciplinario, cambiaría con la entrada en escena de PIGMALIOM (1999-2014)<sup>1</sup>, un programa de investigación dirigido a la explicación

---

1. Proyectos ministeriales de I+D: PIGMALIOM I (PB 98-0957), PIGMALIOM II (BHA2002-04378-C2-0), PIGMALIOM III (HUM2005-02814) y PIGMALIOM IV (HAR 2010-16210).

de las primeras relaciones intersociales de dependencia (Centro/Periferia) en el Sur de la Península Ibérica a través de la identificación y caracterización de la circulación interregional de los productos mineros que materializaron la distancia social y el poder político durante el III milenio A.N.E. Sus resultados han identificado un universo empírico de productos trazadores de relaciones intersociales (cobre, variscita, calizas oolíticas, etc.), han creado una metodología geoarqueológica eficiente en la explicación de la circulación de productos de la minería del suroeste español (PIGMALIOM I) y de las minerías del Valle del Guadalquivir (PIGMALIOM II), han identificado el jerarquizado almacén intersocial que lo sustentó, han permitido el análisis trazador de productos de cobre (PIGMALIOM III), han identificado la variabilidad de conductas territoriales, una división territorial del trabajo y, por último, han permitido la identificación de sus procesos de colapso / emergencia (PIGMALIOM IV).

Paralelamente, otro programa sistemático de investigación, ODIEL<sup>2</sup> (Nocete, 2004; Nocete *et al.*, 1999 a, b, 2000, 2004; etc.), focaliza su área de estudio en el suroeste peninsular, en el principal distrito minero de Europa occidental y, probablemente, en la provincia metalogénica de sulfuros masivos más prolífica del mundo, la Faja Pirítica Ibérica (Leistel *et al.*, 1998; Sáez *et al.*, 1999; etc.) (fig. 1), donde se documentan procesos de jerarquización territorial del distrito minero y la presencia histórica de asentamientos minero-metalúrgicos de producción intensiva y especializada, siendo

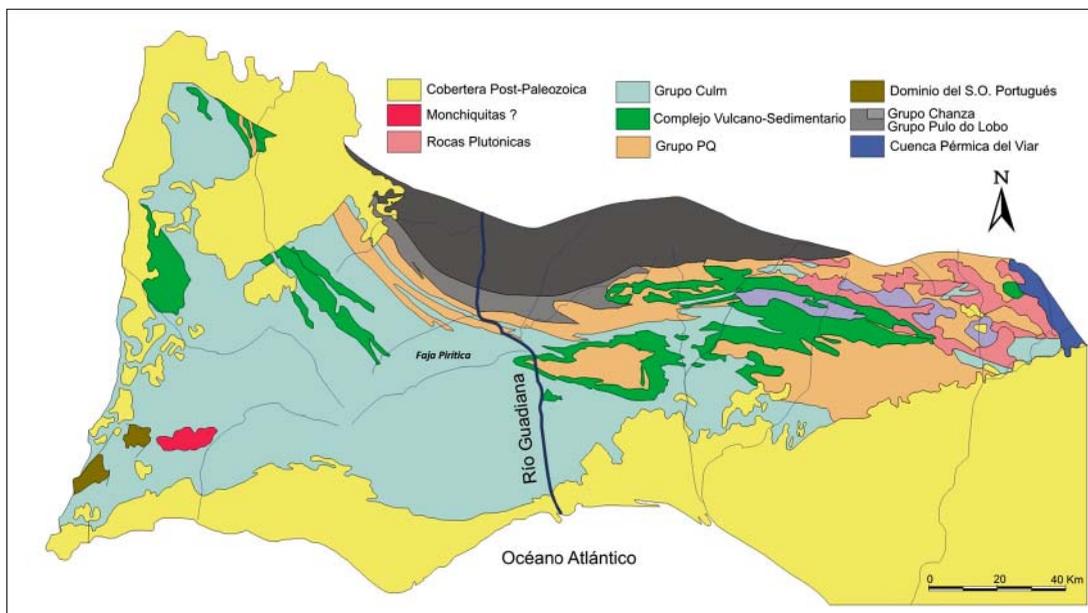


Fig. 1.—Encuadre geológico de la Faja Pirítica Ibérica.

2. Proyectos Generales de Investigación de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía: ODIEL I y ODIEL II.

Cabezo Juré (Alosno, Huelva) y Valencina de la Concepción (Sevilla) sus principales referentes (Bayona, 2008; Nocete, 2004; Nocete *et al.*, 2008, 2011; Sáez *et al.*, 2003).

Los procesos intensivos y extensivos de documentación arqueológica llevados a cabo sobre estos yacimientos y el diseño, implementación y desarrollo de un específico protocolo metodológico y analítico (prospección geoarqueológica, análisis radiocarbónicos, geoquímica isotópica de plomo, metalografía, microdureza, etc.) permiten identificar contextos intensivos de producción de cobre y una metalurgia desarrollada bajo parámetros tecnológicos especializados (hornos, crisoles, toberas, etc.) y bajo una marcada división espacial del trabajo. Junto a ello, un programa sistemático de datación radiocarbónica sitúa a estos contextos arqueológicos como las evidencias más antiguas (3100 A.N.E.) de producción metalúrgica en la Península Ibérica (Nocete *et al.*, 2011). Por tanto, los resultados de estas investigaciones, en lo que aún se trata de un proceso abierto de conocimiento, han proporcionado cualificados registros arqueológicos, con sus teorías y modelos de análisis e interpretación, que han hecho que el suroeste se convierta en marco de referencia para el estudio de la metalurgia primigenia, tanto a nivel peninsular como europeo, por el establecimiento de uno de los ámbitos espaciales y cronológicos vinculados a la metalurgia más antiguos de Europa occidental.

En el análisis de la actividad metalúrgica prehistórica, la explicación de los procesos locales y regionales debe ser considerada como un factor esencial para la adecuada interpretación global de los fenómenos estudiados. En este sentido, la Península Ibérica es, sin lugar a dudas, y desde cronologías prehistóricas, una de las mayores áreas de producción en la historia de la minería y metalurgia europea, donde ya son clásicos los estudios que asocian las actividades humanas (agricultura, pastoreo, deforestación...) con las transformaciones del paisaje, en lo que se ha definido como un proceso milenario de *ciclos de alteración biogeoquímica de elementos trazas*, de especial relevancia y magnitud en los ecosistemas terrestres del Hemisferio Norte (Pontevedra-Pombal *et al.*, 2013). En este marco, son ya también clásicas las afirmaciones sobre la importancia del estudio de estos cambios medioambientales (de origen natural o antrópico), donde los casos de estudio (depósitos) son definidos como *palimpsestos y almacenes de información histórica* cuantitativa y cualitativa (Grattan *et al.*, 2007). Y no menos clásico es el papel fundamental que se otorga a la explotación minera y a la producción metalúrgica en estos procesos de cambios y alteraciones de las condiciones medioambientales de las sociedades antiguas (Nocete, 2001, 2004; etc.).

Las actividades de extracción y fundición de la metalurgia prehistórica del cobre propiciaron la emisión atmosférica y el enriquecimiento de trazas de metales que se acabaron depositando en su entorno más próximo, especialmente en el medio acuático circundante (Hadley y Snow, 1974; Mighall *et al.*, 2006; Miller y Lechler, 1998). En este sentido, la aplicación de los denominados estudios *paleoecológicos o arqueoecológicos* (Breitenlechner *et al.*, 2010; Costa, 2011) ha permitido la reconstrucción del impacto y contaminación generada por las actividades minero-metalúrgicas de las sociedades de nuestra Prehistoria (Brännvall *et al.*, 1997; Kempter y Frenzel, 2000; Martínez-Cortizas *et al.*, 1999, 2009; Mighall *et al.*, 2002, 2006; Pontevedra-Pombal *et al.*, 2013; Shotyk *et al.*, 1998; etc.), ya que la contaminación por metales pesados en los sedimentos (depósitos históricos) refleja, de manera simple y directa, la intensidad y la frecuencia de los procesos previos de extracción y reducción de minerales en el área

o las áreas en que éstas se desarrollan (Grattan *et al.*, 2007; Miller y Lechler, 1998), en tanto que ya es posible la discriminación metodológica respecto a los procesos de lixiviación ácida natural (Essalhi *et al.*, 2011; Olías y Nieto, 2012).

En otro lugar hicimos un detallado balance disciplinar de los análisis de polución vinculados a la actividad metalúrgica y, una vez constatado el reducido número de éstos a nivel peninsular y la casi total inexistencia de ellos en el ámbito de la Faja Pirítica Ibérica, aportamos casos inéditos de evaluación y estudio (Nocete *et al.*, 2005 b, 2006). A nivel general, los resultados de estos estudios mostraron, y demostraron, que la metalurgia desarrollada en el suroeste de la Península Ibérica durante el III Milenio A.N.E. estaba directamente vinculada al incremento de la deforestación, a la aceleración de los procesos erosivos y, por extensión, a la contaminación regional de las aguas del Golfo de Cádiz por el aporte antrópico de metales pesados en la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel (Nocete, 2001, 2004; Nocete *et al.*, 2005b, 2006). Paralelamente, definimos y presentamos su posterior proceso de desaceleración y colapso en el último cuarto del III milenio A.N.E. (Nocete *et al.*, 2010, 2011).

El presente trabajo continúa y completa el análisis sobre el impacto de la actividad metalúrgica en cronologías prehistóricas mediante la presentación de nuevos datos y casos de estudio vinculados a un ámbito territorial, el Algarve portugués y la cuenca baja del río Guadiana, que permite, al dimensionar su escala regional, la constatación de la intensidad del proceso y, junto a ello, una lectura diacrónica que evalúa el problema de su colapso.

## **PROCESO DE INVESTIGACIÓN: PRECEDENTES, METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO**

El estudio precedente (Nocete *et al.*, 2005b, 2006), mediante una metodología basada en la correlación de análisis palinológicos, antracológicos y químicos, exploraba los procesos de intensificación de la explotación minera que provocaron el primer gran impacto local y regional sobre el medioambiente en cronologías del III milenio A.N.E.

En su origen, el registro directo y la documentación de una red de asentamientos vinculados a actividades metalúrgicas en el ámbito del distrito minero de la Faja Pirítica, donde destacaba el yacimiento arqueológico de Cabezo Juré (Bayona, 2008; Nocete, 2004; Nocete *et al.*, 2008, 2011; etc.), junto con los datos aportados por disciplinas ajenas a la Arqueología<sup>3</sup>, sirvieron de base para la génesis de una línea complementaria

---

3. Nos referimos a las informaciones procedentes del estudio de los hielos preservados de Groenlandia donde los análisis de las asignaciones isotópicas de los metales pesados identificaban a la Faja Pirítica Ibérica como el principal responsable de sus emisiones, en un proceso que permitía identificar su inicio entre el 5000 B.P. y el 3000 B.P. (Ferrari *et al.*, 1999) y, por otro lado, nos referimos también al estudio de los sedimentos recuperados en el estuario del río Tinto (Leblanc *et al.*, 2000) que constataba la presencia de contaminación asociada a los procesos mineros y metalúrgicos también desde el 5000 B.P. mediante la cuantificación de elevadas concentraciones de Cu, Pb, Zn y As y la datación directa a través del carbón procedente de una escoria metalúrgica hallada en la columna sedimentaria.

de investigación orientada al análisis de la relación entre contaminación y minería-metalurgia prehistórica.

En esta, inicialmente, se procedió a la definición de los procesos indirectos de la actividad minera y metalúrgica a través de su impacto sobre la cobertura vegetal mediante una metodología de análisis paleobotánicos (palinología / antracología) de constatada eficacia (Carrión, 2002; Carrión y Scott, 1999; Mighall, 2003). Los estudios palinológicos y antracológicos ejecutados permitieron establecer un balance estimatorio del impacto en el entorno vegetal causado por las denominadas industrias *pirotecnológicas* de las comunidades dedicadas a actividades minero-metalúrgicas en el III milenio A.N.E., en su necesidad de contar con combustible para la alimentación de los hornos, en lo que dibujaba un modelo recurrente en las primeras minerías y metalurgias intensivas y especializadas de Europa Occidental y el Mediterráneo (Mighall, 2003; Nocete, 2001, 2004; Wertime, 1983).

En estos mismos trabajos (Nocete *et al.*, 2005b, 2006), una segunda escala de análisis se orientó a definir los procesos directos de contaminación por metales pesados en las aguas del Golfo de Cádiz, constatada y discriminada respecto a su origen antrópico o natural (casi inexistente) (Braungardt *et al.*, 2003; Essalhi *et al.*, 2011; Fernández-Caliani *et al.*, 1997; Nieto *et al.*, 2001, 2007; Olías y Nieto, 2012; Van Geen *et al.*, 1997), pero ahora mediante una metodología innovadora basada en el análisis de bio-indicadores —las conchas de moluscos marinos— capaces de fijar en su estructura los elementos contaminantes disueltos en el agua marina (Pérez, 1989; Gómez-Ariza *et al.*, 2000) mediante análisis químicos en ICP-MS de la fluctuación de elementos traza (Cu, Zn, As) (Nieto *et al.*, 2001). Este nuevo parámetro de análisis permitió establecer un balance de la intensidad minera y metalúrgica de mayor escala, presentando el inicio de la contaminación por metales pesados registrada en moluscos recuperados en contextos arqueológicos, en la primera mitad del III milenio A.N.E. (Nocete *et al.*, 2005b, 2006). La evaluación general de los resultados de la línea complementaria de investigación orientada a analizar la relación entre contaminación y minería-metalurgia prehistórica permitió concluir la posibilidad de contrastar y cuantificar empíricamente el impacto de la actividad metalúrgica sobre su entorno y, por otra parte, que nos hallábamos ante un modelo histórico de práctica intensiva y especializada de la minería y metalurgia del cobre que escapaba de la escala doméstica y de escasa relevancia señalado por la tradición arqueológica (Nocete *et al.*, 2005b, 2006).

La constatación de estos picos y niveles generalizados de contaminación incidía en la necesidad de ampliar el ámbito de reflexión sobre el impacto y efectos medioambientales de la primera minería y metalurgia especializada en el Suroeste de la Península Ibérica y requería, como principio metodológico, el análisis de nuevos casos arqueológicos y la revisión del universo empírico disponible. En este sentido, las regiones del Bajo Guadiana y del Algarve portugués (margen derecha) manifestaban una gran significación y presumían su enorme relevancia en el proceso.

A continuación se presentan los resultados de dos líneas de investigación desarrolladas recientemente en este ámbito territorial y que complementan los estudios precedentes sobre la actividad minero-metalúrgica, su impacto y efectos en el medio: el análisis de (nuevos) sondeos sedimentarios y el análisis territorial (prospección geoarqueológica).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN: AMPLIACIÓN DEL UNIVERSO EMPÍRICO

### Análisis de sondeos sedimentarios

El análisis precedente de sedimentos del estuario del Guadiana (González-Vila *et al.*, 2003), en la cuenca de drenaje del yacimiento arqueológico de La Junta de los Ríos, en el Ándevalo onubense, en plena Faja Pirítica Ibérica y a escasos 30 km de distancia de Cabezo Juré, confirmó la existencia de procesos erosivos y de deforestación comarcal a inicios del III milenio A.N.E. Complementariamente, fueron realizadas otras columnas litoestratigráficas objeto de estudio polínico y químico (Fletcher, 2005; Fletcher *et al.*, 2007) y, junto a ellas, estudios sedimentológicos que indicaban la presencia de un amplio estuario, hace 5000 años, en la desembocadura del río Guadiana (Boski *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 2000; Morales, 1997), situación similar a la observada para la ría de Alvor (Morán y Parreira, 2004), el Tinto / Odiel (Borrego *et al.*, 1995) o el Guadalquivir (Arteaga y Roos, 1995).

Recientemente ha sido publicado un nuevo trabajo (Delgado *et al.*, 2012) desarrollado en la cuenca de drenaje del río Guadiana<sup>4</sup>. Este trabajo, basado en el análisis de sedimentos de su estuario, estudia las fluctuaciones del nivel del mar durante los últimos 13.000 años y propone un modelo alternativo de reconstrucción paleoambiental para el valle del Guadiana, complementario a otros modelos existentes (Fletcher *et al.*, 2007). Para ello, se basa en el examen detallado de sedimentos del Holoceno – Antropoceno recuperados en los dos ámbitos fronterizos del Guadiana (SE Portugal / SW España) capaces de fijar el tiempo, los niveles y las fuentes de los elementos trazas metálicos producidos por los lixiviados generados por el drenaje ácido de minas de la Faja Pirítica Ibérica, históricamente identificados en la cuenca del Bajo Guadiana (Delgado *et al.*, 2009) y del Tinto y el Odiel (Ruiz, 2010; Olías *et al.*, 2006; Fernández-Caliani, 2008) y metodológicamente discriminado del drenaje ácido de rocas de origen natural (Essalhi *et al.*, 2011; Olías y Nieto, 2012).

Este estudio incide en la utilidad de los registros sedimentarios postglaciales para la reconstrucción de los cambios históricos y la discriminación entre las fuentes naturales y antrópicas de los procesos de contaminación geoquímicos mediante el análisis estadístico multivariante (*Análisis de Factores*). En este sentido, este trabajo constata que las actividades humanas se hacen especialmente evidentes a partir de lo que los autores denominan el inicio de la *Edad del Cobre*, con la presencia dominante de flujos metálicos asociados a actividades mineras, gracias a los procesos de absorción de las trazas metálicas en suspensión en los medios acuosos en los sedimentos estuarinos de más fino tamaño de grano (Hwang *et al.*, 2009; Miller y Lechler, 1998), los cuales, además, suelen ser abundantes en materia orgánica susceptible de datación por C<sup>14</sup>. En este caso, para el establecimiento de la cronometría de los procesos fueron realizadas 16 dataciones radiocarbónicas.

---

4. El río Guadiana está entre los más extensos de la Península Ibérica, con un recorrido total de más de 800 km cuyo curso bajo discurre principalmente por la Faja Pirítica Ibérica.

Procedentes de dos columnas litoestratigráficas (CM5 y CM6) (fig. 2), un total de 105 muestras fueron caracterizadas geoquímicamente mediante *Espectrometría de Emisión Atómica* y *Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo* (ICP-AES / ICPMS), identificando los elementos mayoritarios y los trazas indicativos de impactos ambientales (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, y Zn). El estudio de la variación entre las ratios M/Al en sedimentación continua para 13.000 años permitió, además, establecer el *background* de la concentración de metales en unidades litoestratigráficas no afectadas por actividades antrópicas.

Las conclusiones principales a las que se llega en este trabajo indican el registro de un significativo enriquecimiento de Mn, Pb, Zn, Cd, Co, Ni, y Cu los últimos 4.500 años (fig. 3), asociando claramente al Cu, Pb y Zn como el efecto de actividades humanas relacionadas con la explotación de depósitos de sulfuros, mientras que las concentraciones significativas de Co y Ni detectadas serían consecuencia de los procesos de deforestación vinculados a asentamientos humanos prehistóricos y también a operaciones mineras (Delgado *et al.*, 2012). Junto a esto, se distinguen 5 etapas históricas en relación al denominado EF (factor de enriquecimiento metálico), que irían desde el *background* con aportes de trazas metálicas debido a procesos naturales, hasta los últimos 2.000 años, indicativos de la intensificación de los procesos antrópicos de actividad minera en la Faja Pirítica, fruto de una gran explotación por parte



Fig. 2.—Fotografía aérea del contexto geográfico y localización de las columnas litoestratigráficas (CM5 y CM6) referidas en el texto (figura adaptada de Delgado *et al.*, 2012, fig. 2, p. 124).

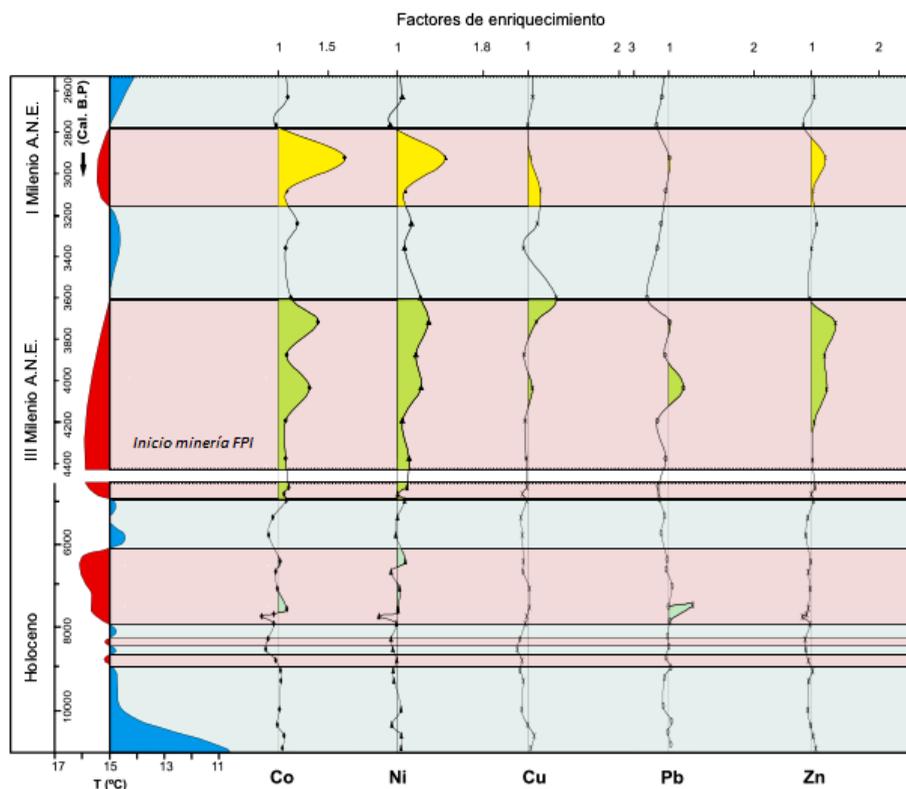


Fig. 3.—Contaminación por metales pesados (*Factor de enriquecimiento*) en el bajo Guadiana (10000 – 2600 cal. B.P.) basada en los datos de las columnas litoestratigráficas CM5 y CM6 (figura adaptada de Delgado *et al.*, 2012, fig. 10, p. 137).

de la ocupación romana y de la minería moderna. En este cronograma de procesos, la denominada Fase 2 la circunscriben al inicio de la minería en la Faja Pirítica Ibérica en el III milenio A.N.E. (Delgado *et al.*, 2012).

### Análisis territorial: prospección geoarqueológica

La explicación histórica de este fenómeno generalizado de contaminación de los sedimentos de las aguas marinas por metales pesados y de los procesos de deforestación vinculados que se observan también en el Bajo Guadiana, requería iniciar niveles preliminares de evaluación del poblamiento regional y testar su asociación a las actividades de explotación minera y producción metalúrgica.

Los datos polínicos del Bajo Guadiana indican la existencia de un bosque formado por encinas, alcornoques y pinares durante el IV-III milenio A.N.E., típico de un clima caluroso y seco con algunos episodios de aridez (Fletcher *et al.*, 2007) y de deforestación selectiva que afectó a los bosques de pinares y que, a partir del III milenio

A.N.E., alcanzó a la vegetación ciliar y a todas las especies de *Quercus*, provocando un proceso de colmatación sedimentaria del estuario que favoreció la formación de pantanos (Boski *et al.*, 2002; Fletcher, 2005) y que, junto a la aparición esporádica de taxones de *Poaceae*, sugiere la concurrencia de prácticas agrícolas y de aprovechamiento de recursos (madera) en esta región (Fletcher, 2005), lo que sería congruente con los datos aportados por los análisis polínicos de los poblados de Cabezo Juré y La Junta de los Ríos y lo que confirmaría la escala regional y cronológica de los procesos de deforestación referidos (Nocete, 2001, 2004; etc.). Con todo esto, sin embargo, los datos facilitados por el registro polínico del Bajo Guadiana no parecían tener correspondencia con la documentación territorial arqueológica disponible, una información, deficiente, que contrasta con la intensa ocupación humana que se observa alrededor de los paleoestuarios del Guadalquivir (Nocete, 2001; Nocete *et al.*, 2008; Vargas, 2003), Tinto / Odiel (Martín de la Cruz, 1987) o Alvor (Morán y Parreira, 2003, 2004) para cronologías, fundamentalmente, del IV-III milenio A.N.E.

En lo que respecta a su margen izquierda, los trabajos arqueológicos realizados en el ámbito de minimización de la construcción y posterior inundación de la presa del Andévalo, sobre las riberas del Malagón, Covica y Viguera (afluentes de la ribera del Chanza), identificaron un complejo mosaico social organizado alrededor de la actividad minera y metalúrgica donde el poblamiento regional era jerarquizado por sitios localizados en las unidades geomorfológicas más elevadas (Álex *et al.*, 2005; Bayona *et al.*, 2005; Nocete *et al.*, 2005c, 2009; etc.). Los resultados de la excavación integral del poblado de La Junta de los Ríos (Nocete, 2008), permitirían definir las características económicas de una comunidad dedicada exclusivamente al control del territorio donde la metalurgia del cobre se limitó al proceso de fundición y reciclaje de productos. Esta densidad de asentamientos asociados a las minas de cobre y a su explotación metalúrgica ayudaría a explicar el impacto en la vegetación (deforestación) constatado en los registros polínicos referidos anteriormente.

Sin embargo, en la información de la margen derecha del Guadiana, solo los poblados de João Marques y Santa Justa, localizados en el alto Algarve Oriental y explorados en la década de los 80 (Gonçalves, 1989), son los ejemplos que se pueden adscribir a un poblamiento regional asociado a la minería y metalurgia del cobre (ver también Soares *et al.*, 1994). En el primer caso, la investigación arqueológica desarrollada define un poblado donde la actividad metalúrgica está ampliamente representada por minerales, escorias, instrumental de trituración, crisoles, artefactos, etc., sugiriéndose que todo el proceso de fabricación de objetos de cobre sería realizado internamente. Por otro lado, Santa Justa, situado en una región donde han sido identificadas varias minas con explotación antigua (Bayona *et al.*, e.p.; Catarino, 1998), se define como un poblado fortificado por murallas y bastiones, de intensa ocupación durante gran parte del III milenio A.N.E., según las dataciones disponibles, y donde la metalurgia es caracterizada por la presencia de numerosos productos, crisoles, toberas, minerales, escorias, etc.

Trabajos recientes (García, 2008), en áreas próximas al litoral, han permitido la identificación de nuevos registros arqueológicos en el territorio conocido desde el siglo XIX por las investigaciones de Estácio da Veiga, quien exploró y dio a conocer los monumentos de Nora y Marcela (Veiga, 1881). Además, en los últimos años, el proyecto *Pré-História e Megalitismo de Cacela* (Inácio *et al.*, 2008) incide, desde una

nueva perspectiva, en el estudio de la ocupación de las tierras de la campiña algarvía, en una región localizada a menos de 15 km del paleoestuario del Guadiana y muy próxima de otro formado por las riberas de Almargem y Gilão (Tavira) (Boski *et al.*, 2008). Junto a ello, la investigación arqueológica desarrollada en el túmulo megalítico de Santa Rita (Inácio *et al.*, 2010) pone al descubierto un monumento de arquitectura compleja, construido a inicios del III milenio A.N.E., donde la presencia de cinabrio procedente de Almadén (Ciudad Real, España) (Inácio *et al.*, e.p.) y de grandes láminas de caliza oolítica silicificada (Nocete *et al.*, 2005a) demuestran la existencia de patrones inter-regionales de circulación de materias primas y de productos entre los territorios situados a ambos lados del Guadiana (fig. 4).

No obstante, toda esta información arqueológica directa del poblamiento y explotación metalúrgica en el Algarve portugués no parecía justificar los niveles de deforestación y contaminación para cronologías del III milenio A.N.E. detectados en el estudio sedimentológico realizado en el Bajo Guadiana (Delgado *et al.*, 2012). Por ello, decidimos profundizar en la exploración del territorio mediante la ejecución de un proyecto específica y metodológicamente diseñado, el proyecto *Actividad minero-metalúrgica del III Milenio A.N.E. en el Sur de Portugal: prospección geoarqueológica* (Bayona

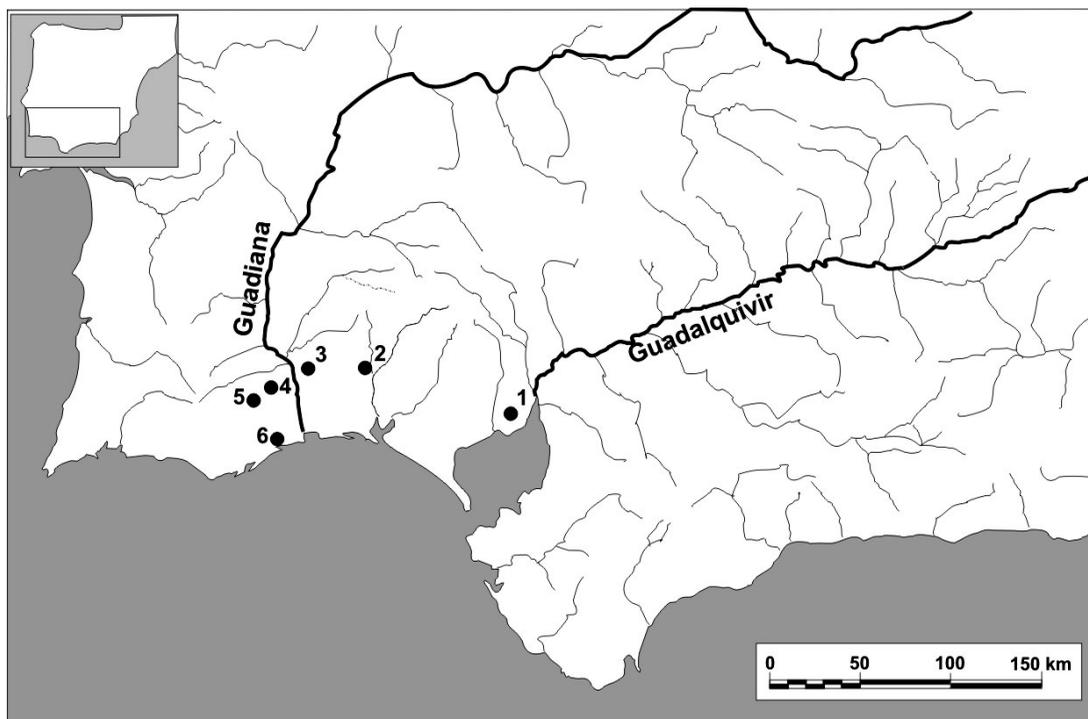


Fig. 4.—Localización de los principales sitios arqueológicos referidos en el texto. 1: Valencina de la Concepción; 2: Cabezo Juré; 3: La Junta de los Ríos; 4: Santa Justa; 5: João Marques; 6: Santa Rita.

*et al.*, e.p.)<sup>5</sup>. Este proyecto se define como un programa de investigación dirigido a la explicación de las relaciones y contextos sociales y tecnológicos vinculados a la metalurgia en el sur de Portugal, a través de un enfoque geoarqueológico interdisciplinar de identificación y caracterización de la producción y circulación interregional de productos mineros durante el III milenio A.N.E.

Para contrastar los resultados de los programas de investigación previos y para evaluar las dinámicas de poblamiento y explotación del territorio del sur de Portugal, en relación a la caracterización y definición de su primera actividad minero metalúrgica, se seleccionó un modelo territorial centrado en los *concelhos* de Alcoutim, Castro Marim y Tavira en el Alto Algarve Oriental, lo que se traduce en un área de prospección equivalente a 50 km<sup>2</sup> (fig. 5). En este sentido, el interés preferencial por este ámbito territorial quedaba definido en el hecho de su ubicación con respecto al andévalo onubense, dos ámbitos territoriales separados por el río Guadiana, una frontera actual pero importante vía de circulación de materias primas, productos y personas en la antigüedad, y por sus características geológicas y metalogenéticas, donde dominan, al norte los ámbitos pertenecientes a la Faja Pirítica Ibérica y, al sur, los ámbitos de la cobertura meso-cenozoica, que definen al Algarve Portugués como un área de extrema importancia para evaluar los procesos de producción y circulación de manufacturas metálicas a través del estudio de sus modelos de explotación territorial: minas, trincheras, poblados minero-metalúrgicos, etc. Junto a ello, los registros arqueológicos previos con evidencias de producción metalúrgica de cobre (Gonçalves, 1989; etc.), así como la presencia (y pervivencia) de evidencias de áreas de extracción de materia prima, expresaban la conveniencia y necesidad de ampliar el debate sobre la primera minería y metalurgia especializada, y su impacto, en el suroeste, ahora a esta región.

Para hacer posible y eficaz su estudio, este proyecto se centró en el análisis de contextos y muestras arqueológicas que identificaban actividad minera y metalúrgica en el ámbito propuesto. Por ello, los objetivos específicos que se definieron perseguían, principalmente, la identificación del patrimonio arqueológico vinculado a la actividad minero-metalúrgica (minas y asentamientos) en las áreas seleccionadas para su prospección, la obtención de nuevos elementos de información empírica para la exploración de los niveles de circulación de materia prima y productos mediante su caracterización isotópica, la identificación de las potenciales fuentes de suministro para el desarrollo de la actividad metalúrgica, que permitan la explicación del coste social que implicó su circulación y, junto a ello, la identificación y precisión de la naturaleza y presencia de su registro arqueológico.

Durante el desarrollo de los trabajos de prospección sistemática e integral de este proyecto se localizaron un total de 40 sitios arqueológicos o de interés geoarqueológicos (fig. 6) que permitieron, respecto a las sociedades vinculadas a la actividad minero-metalúrgica, la definición, por primera vez, de ámbitos de extracción de la minería del cobre prehistórica y su relación con redes de poblamiento (fig. 7). Junto

---

5. Proyecto de la convocatoria 2011 para la ejecución de *Proyectos Arqueológicos en el Exterior* concedido y subvencionado por el Ministerio de Cultura de España y autorizado por el *Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico* de Portugal.

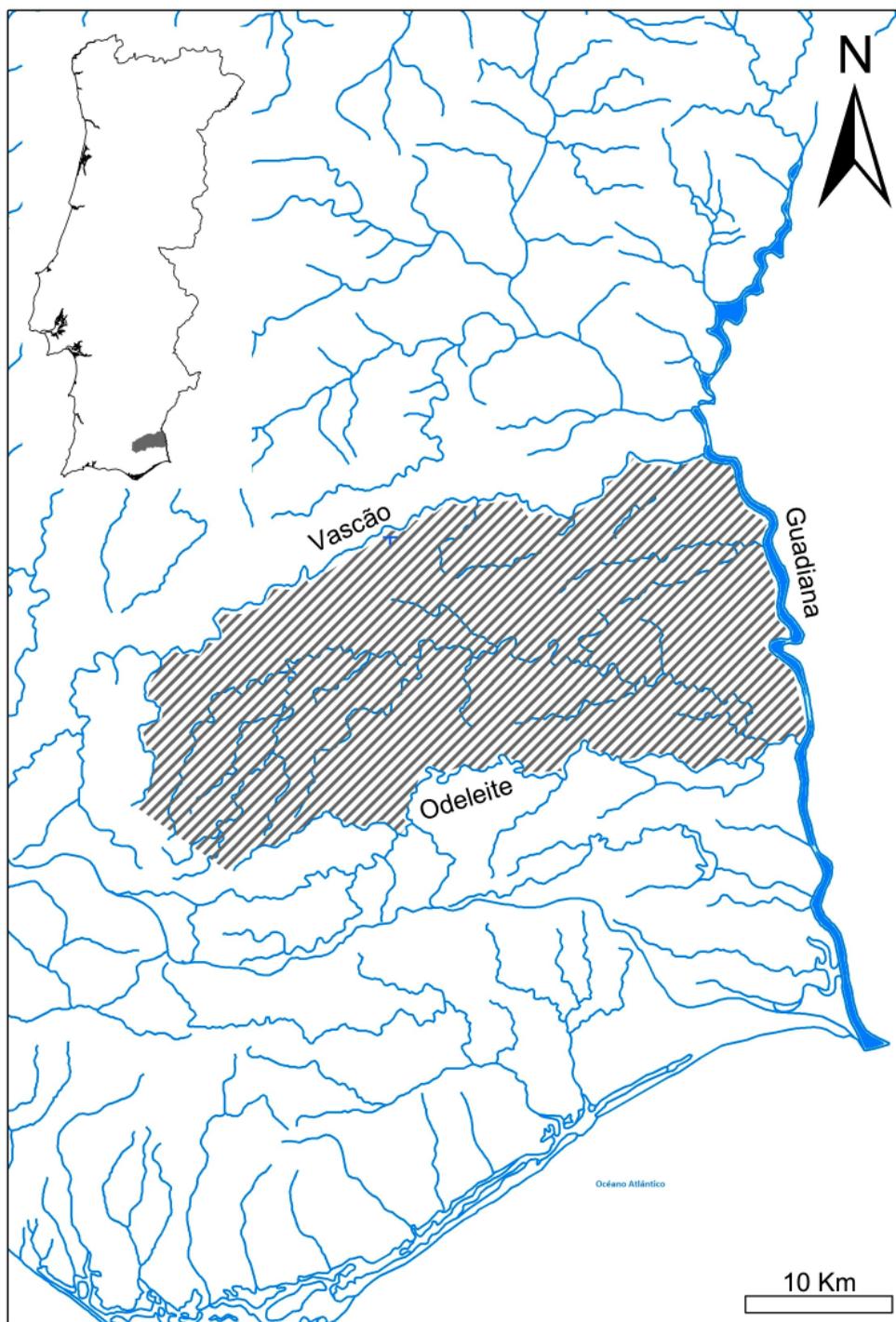


Fig. 5.—Delimitación de las áreas de prospección del proyecto *Actividad minero-metalúrgica del III Milenio A.N.E. en el Sur de Portugal: prospección geoarqueológica.*

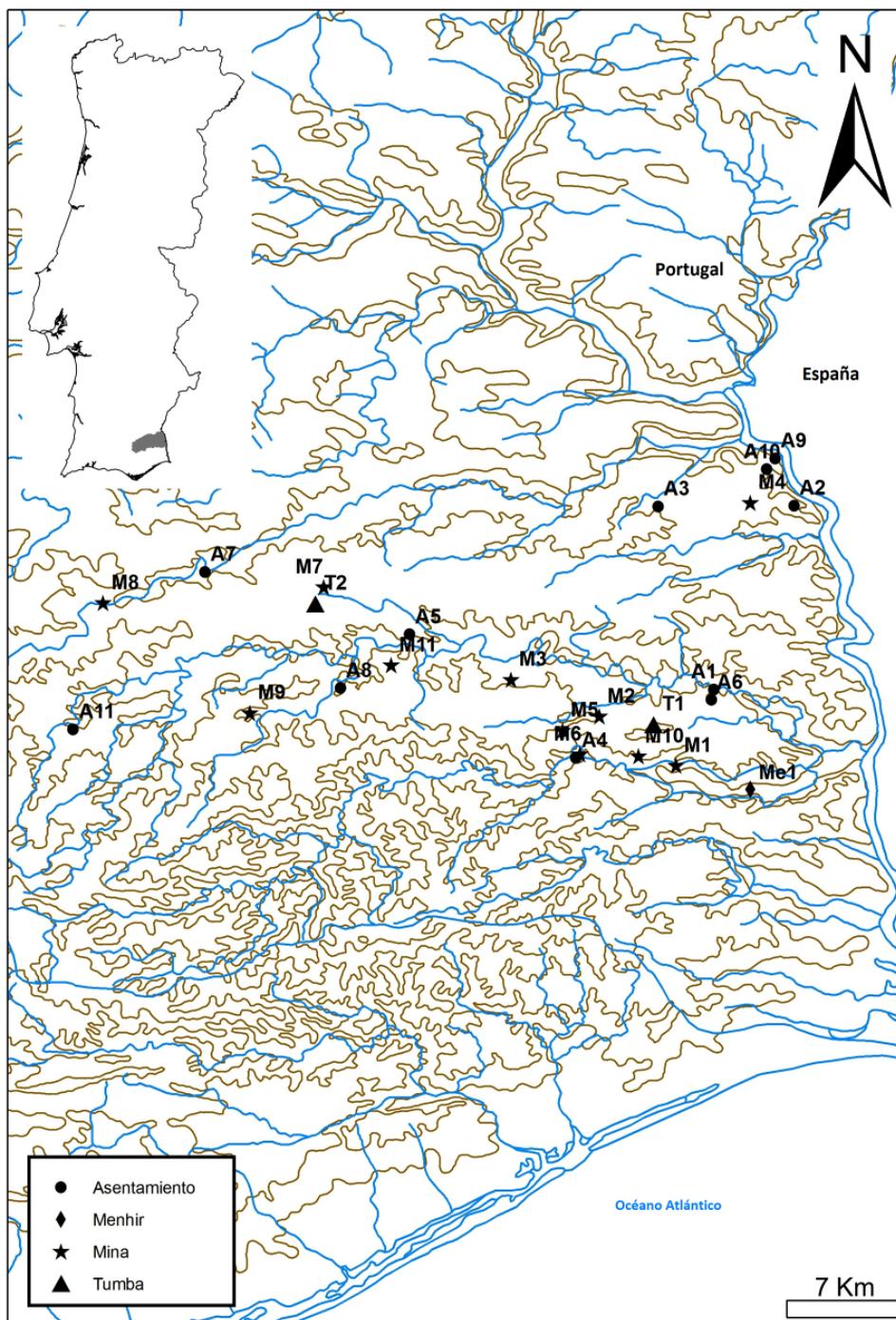


Fig. 6.—Localización, con indicación de leyenda, de las evidencias arqueológicas y geoarqueológicas registradas durante el transcurso del proyecto *Actividad minero-metalúrgica del III Milenio A.N.E. en el Sur de Portugal: prospección geoarqueológica*.



Fig. 7.—Evidencias de actividad minera (minas, escombreras, martillo y minerales cupríferos) registradas durante el transcurso del proyecto *Actividad minero-metalúrgica del III milenio A.N.E. en el Sur de Portugal: prospección geoarqueológica*.

a ello, la definición de un modelo de ordenación del territorio, en principio, dual, que permite definir el uso compartido de la minería del cobre, al dibujarse una trama de pequeñas explotaciones dispersas en el territorio, sin la aparente presencia de ningún asentamiento que gestione y controle directamente estos recursos (Bayona *et al.*, e.p.).

De esta manera, y con estos datos, la ocupación del territorio circundante a la cuenca de drenaje del río Guadiana, su vinculación con la explotación minero-metalúrgica y el aprovechamiento de los recursos naturales necesarios, inferidos desde los registros sedimentarios de contaminación y deforestación previos (ver *supra*), comienzan a definir, de forma directa, actividades humanas de grado, nivel e intensidad de mayor alcance (Bayona *et al.*, e.p.).

## CONCLUSIONES

La evaluación preliminar de los resultados de los recientes estudios y trabajos presentados, en relación a los nuevos universos empíricos y ámbitos de reflexión sobre el

impacto ambiental de la primera minería y metalurgia en el Suroeste de la Península Ibérica (Bajo Guadiana), permiten realizar una serie de conclusiones y valoraciones específicas:

- Estas nuevas aportaciones sobre la investigación de la actividad metalúrgica en la Prehistoria inciden en la posibilidad de contrastar y cuantificar empíricamente su impacto en el medio, ampliando el número, hasta ahora reducido, de este tipo de estudios en el ámbito de la Península Ibérica (Nocete *et al.*, 2005b, 2006; Pontevedra-Pombal *et al.*, 2013; etc.).
- Sus resultados permiten testar la validez y fiabilidad de una metodología capaz de ofrecer un marco exploratorio, contrastable y predictivo de modelos y patrones de poblamiento y explotación económica, permitiendo, de forma indirecta (sondeos sedimentarios), la identificación de procesos minero-metalúrgicos. No obstante, y como ha sido validado en este trabajo, esta metodología permite, además, convertir estos indicadores indirectos en indicadores directos (prospección geoarqueológica) mediante la exploración intensiva y sistemática del territorio. Por tanto, esta metodología genera un proceso de *feed-back* entre indicadores directos e indirectos del grado e intensidad de la actividad metalúrgica y su impacto en el medio (Grattan *et al.*, 2007; Nocete *et al.*, 2005b). Junto a ello, además, hay quienes proponen la viabilidad de esta metodología para la presentación de modelos predictivos basados en simulaciones y como método alternativo de seriación cronológica (Adams y Younger, 2000; Costa, 2011; Younger, 2000).
- Por otro lado, estas nuevas aportaciones inciden también en la validez y eficacia de una metodología de características, variables e indicadores analíticos extendida en el ámbito científico internacional y cuyas inferencias sobre la interpretación de la contaminación e impacto generado por la actividad metalúrgica en épocas y períodos clásicos y modernos (ocupación romana, revolución industrial, etc.) es ampliamente aceptada (Breitenlechner *et al.*, 2010; Costa, 2011; Grattan *et al.*, 2007; Miller y Lechler, 1998; Pontevedra-Pombal *et al.*, 2013; etc.).
- El análisis químico de la columna litoestratigráfica del Bajo Guadiana ha permitido documentar procesos similares a los observados en los estuarios del Tinto / Odiel y del Guadalquivir. En efecto, ha sido posible identificar un incremento de la contaminación por metales pesados (Cu, Pb y Zn), así como de algunos elementos típicamente asociados a la corteza terrestre (Co y Ni) que indican la existencia de episodios generalizados de erosión río arriba (cuena de drenaje) como consecuencia de la degradación de la cobertura vegetal, y todo ello durante cronologías del III milenio A.N.E. (Delgado *et al.*, 2012).
- La exploración intensiva y sistemática del territorio mediante una metodología de base geoarqueológica, ha generado un sustancial incremento numérico y cualitativo de la información previa disponible, aumentando las bases de datos sobre caracterización de áreas fuente de materias primas (minas), asentamientos, ordenación territorial, etc. y creando, desde ellas, soportes específicos para el análisis integral de la producción metalúrgica (Bayona *et al.*, e.p.). Además, se ha propiciado la obtención de nuevos elementos (muestras) de información empírica para la exploración de los niveles de circulación de materia prima y

productos mediante su caracterización isotópica. Junto a ello, este análisis territorial implementado ha permitido definir la existencia de un poblamiento ininterrumpido en las áreas prospectadas durante los últimos 6.000 años y, respecto a las sociedades vinculadas a la actividad minero-metalúrgica, la definición, por primera vez, de ámbitos de extracción de la minería del cobre y su relación con las redes de poblamiento. Y, más allá de ello, ha permitido la identificación de un modelo de organización territorial dual que, pese a la imposibilidad de avanzar más en su grado de relación o caracterización sin la presencia de niveles adicionales de información arqueológica, permite definir el uso compartido de la minería del cobre, al dibujarse una trama de pequeñas explotaciones dispersas en el territorio sin la aparente presencia de ningún asentamiento que gestione y controle directamente estos recursos. En síntesis, la necesaria comparación de los modelos de ocupación registrados con el de un territorio bien explorado y definido, el de la zona de Huelva (yacimientos de Cabezo Juré, La Junta, Santa Bárbara, etc.) presenta, en principio, algunas similitudes, aunque la existencia en el área de Huelva de poblados vinculados al control y gestión directa de los recursos mineros lo definen como un sistema más complejo que el registrado, hasta el momento, para el sur de Portugal.

Por tanto, los nuevos indicadores directos (prospección geoarqueológica) e indirectos (palinología, análisis químicos de sedimentos y bioindicadores, etc.) presentados en este trabajo en relación al territorio del Bajo Guadiana, comparados y unidos a los disponibles para las cuencas del Guadalquivir y el Tinto / Odiel sugieren que la actividad minera y metalúrgica que se desarrolló en la Faja Pirítica Ibérica durante el III milenio A.N.E fue la responsable de un fuerte impacto en el medio ambiente: deforestación intensiva, erosión de los suelos y contaminación por metales pesados. Estos datos y registros evidencian la constatación, en el ámbito del Guadiana, de la intensidad de un proceso de marcado carácter regional (España / Portugal – Andévalo / Algarve).

En este sentido, reiteramos el hecho de que los casos arqueológicos citados y evaluados (Cabezo Juré, Valencina de la Concepción, La Junta, João Marques, Santa Justa, etc.) no debieron ser los únicos protagonistas y causantes de un proceso histórico de tal magnitud. Su explicación se encuentra en un modelo minero y metalúrgico que transformó esta región en una periferia económica y política dependiente de los grandes centros de poder que emergieron en los valles del Guadiana y del Guadalquivir. Se constata, por tanto, que la tesis que defiende y define una metalurgia del cobre de escaso desarrollo tecnológico y social durante cronologías del III milenio A.N.E., poco especializada y organizada alrededor de ámbitos domésticos, carece, cada vez más, de argumentos y de sustento empírico. La realidad histórica presentada es bastante más compleja y es dibujada por una diversidad de modelos, en base a sus contextos arqueológicos, donde la actividad metalúrgica se encuentra representada tanto por poblados especializados o barrios metalúrgicos como, por supuesto, por unidades de producción de escala doméstica (Bayona, 2008; Nocete *et al.*, 2011).

Y, por último, más allá de la constatación generalizada para el suroeste peninsular de los procesos de erosión, deforestación y drenaje ácido en el III milenio A.N.E., su rápido descenso durante el II milenio A.N.E. nos permite verificar y contrastar el colapso

de los niveles de complejidad e intensidad de la actividad metalúrgica que habían sido propuestos para la Faja Pirítica y el Bajo Guadalquivir a partir de la segunda mitad del III milenio A.N.E. (2400-2300 A.N.E.) (Nocete *et al.*, 2010, 2011). Un proceso de colapso de la actividad metalúrgica en el suroeste caracterizado por la desaparición y desmantelamiento de los centros de producción intensiva y especializada, de gestión y control territorial, etc. (Cabezo Juré, Valencina de la Concepción, La Junta de los Ríos, Santa Justa, etc.) con reflejo directo en la reducción de los niveles de deforestación y drenaje ácido constatados, a nivel general, en la bahía del Golfo de Cádiz y contrastados, a nivel particular, con los datos procedentes de la cuenca del río Guadiana.

## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta línea de investigación y los nuevos resultados presentados en este trabajo se sitúan en el marco de varias colaboraciones y proyectos de investigación. Debemos destacar y referir los proyectos *ODIEL* y *PIGMALIOM*, financiados respectivamente por la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y por los Ministerios de Educación y Cultura / Educación y Ciencia / Ciencia e Innovación.

Recientemente, debemos resaltar la concesión y financiación, por parte del Ministerio de Cultura, del Proyecto *Actividad minero-metalúrgica del III Milenio A.N.E. en el Sur de Portugal: prospección geoarqueológica*, que ha permitido la ejecución de uno de los pilares principales en los que el presente trabajo se basa.

Asimismo, queremos agradecer a las distintas autoridades portuguesas la autorización concedida para la realización de este último proyecto y a la Dra. Alexandra Gradim, arqueóloga de la Cámara Municipal de Alcoutim, el constante y eficiente apoyo prestado durante los trabajos de prospección.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, R. y YOUNGER, P. L. (2000): "Simulating groundwater rebound in a recently closed tin mine", *Water Resources Systems Research Laboratory*.
- ÁLEX, E., NOCETE, F., LIZCANO, R., BAYONA, M. R., ORIHUELA, A., NIETO, J. M. y SÁEZ, R. (2005): "Prospección arqueológica sistemática de urgencia en el área inundable de la Presa del Andévalo. Puebla de Guzmán, Paymogo y El Almendro (Huelva), 2002", *Anuario Arqueológico de Andalucía 2002*, vol. I, pp. 573-580, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- ARTEAGA, O. y ROOS, A. M. (1995): "Geoarchäologische Forschungen im Umkreis der Marismas am Río Guadalquivir (Niederandalusien)", *Madridener Mitteilungen* 36, pp. 199-218.
- BAYONA, M. R. (2008): "La investigación de la actividad metalúrgica durante el III Milenio A.N.E. en el suroeste de la Península Ibérica. La Arqueometalurgia y la aplicación de análisis metalográficos y composicionales en el estudio de la producción de objetos de metal", *BAR International Series* 1769, Oxford.
- BAYONA, M. R., NOCETE, F., LIZCANO, R., ÁLEX, E., SÁEZ, R., NIETO, J. M. y BARBA, J. M. (2005): "Informe preliminar de excavación arqueológica de urgencia en el yacimiento de La Junta (Puebla de Guzmán, Huelva)", *Anuario Arqueológico de Andalucía 2002*, vol. I, pp. 552-561, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- BAYONA, M. R., INÁCIO, N., NOCETE, F., SÁEZ, R. y PERÁMO, A. (e.p.): "Actividad minero-metalúrgica del III Milenio A.N.E. en el sur de Portugal: Prospección Geoarqueológica. Fase 1 de Investigación: resultados preliminares", *Informes*

- y *Trabajos (Serie Digital IPCE)*, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte - Instituto del Patrimonio Cultural de España.
- BORREGO, J., MORALES, J. A. y PENDON, J. G. (1995): "Holocene Estuarine Facies along the Mesotidal Coast of Huelva, South-Western Spain", *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments* (Flemming, B. W. y Bartholomä, A., eds.), Blackwell Publishing Ltd., pp. 151-170.
- BOSKI, T., MOURA, D., VEIGA-PIRES, C., CAMACHO, S., DUARTE, D., SCOTT, D. B. y FERNANDES, S. G. (2002): "Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal / Spain border", *Sedimentary Geology* 150 (1-2), pp. 103-122.
- BOSKI, T., CAMACHO, S., MOURA, D., FLETCHER, W., WILAMOWSKI, A., VEIGA-PIRES, C., CORREIA, V., LOUREIRO, C. y SANTANA, P. (2008): "Chronology of the sedimentary processes during the postglacial sea level rise in two estuaries of the Algarve coast, Southern Portugal", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, pp. 230-244.
- BRÄNNVALL, M. L., BINDLER, R., EMTERYD, O., NILSSON, M. y RENBERG, I. (1997): "Stable isotope and concentration records of atmospheric lead pollution in peat and lake sediments in Sweden", *Water Air Soil Pollution* 100, pp. 243-252.
- BRAUNGARDT, C. B., ACHTERBERG, E. P., ELBAZ-POULICHET, F. y MORLEY, N. H. (2003): "Metal geochemistry in a mine-polluted estuarine system in Spain", *Applied Geochemistry* 18, pp. 1757-1771.
- BREITENLECHNER, E., HILBER, M., LUTZ, J., KATHREIN, Y., UNTERKIRCHER, A. y OEGGL, K. (2010): "The impact of mining activities on the environment reflected by pollen, charcoal and geochemical analyses", *Journal of Archaeological Science* 37, pp. 1458-1467.
- CÁMARA, J. A. y MOLINA, F. (2006): "Selection of data, determinism and scientific relevance in interpretation of a social development in the Late Prehistory of the Iberian Southeast", *Social Inequality in Iberian Late Prehistory* (Díaz, P. y García, L. eds.), BAR International Series 1525, pp. 21-35. Oxford.
- CARRIÓN, J. S. (2002): "Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of south-western Europe", *Quaternary Science Reviews* 21, pp. 2047-2066.
- CARRIÓN, J. S., y SCOTT, L. (1999): "The challenge of pollen analysis in palaeoenvironmental studies of hominid beds: the record from Sterkfontein caves", *Journal of Human Evolution* 36, pp. 401-408.
- CATARINO, H. (1998): "O Algarve Oriental durante a ocupação Islâmica", *al'ulyã* 6, Arq. Histórico Municipal de Loulé.
- CHAMPIOM, T., GAMBLE, C., SHENNAN, S. y WHITTLE, A. (1984): *Prehistoric Europe*, Academic Press, London.
- CHAPMAN, R. W. (1990): *Emerging complexity. The Later Prehistory of Southeast Spain, Iberia and the West Mediterranean*, Cambridge University Press, Cambridge.
- CHAPMAN, R. W. (2003): *Archaeologies of Complexity*, Routledge, London.
- CHAPMAN, R. W. (2008): "Producing inequalities: regional sequences in later prehistoric Southern Spain", *Journal World Prehistory* 21, pp. 195-260.
- COSTA, D. M. (2011): "Archaeo-environmental study of the Almas river: mining pollution and the Cerrado biome in the end of the nineteenth century in Mid-Western, Brazil", *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 3497-3504.
- CUNLIFFE, B. (1994): *Oxford Illustrated Prehistory of Europe*, Oxford University Press, Oxford.
- DELGADO, J., SARMIENTO, A., CONDESSO DE MELO, M. y NIETO, J. (2009): "Environmental impact of mining activities in the southern Sector of the Guadiana basin (SW of the Iberian Peninsula)", *Water, Air, and Soil Pollution* 199 (1), pp. 323-341.
- DELGADO, J., BOSKI, T., NIETO, J. M., PEREIRA, L., MOURA, D., GOMES, A., SOUSA, C. y GARCIA-TENORIO, R. (2012): "Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of the Guadiana Estuary (SW Iberia)", *Quaternary Science Reviews* 33, pp. 121-141.
- DELIBES, G. y FERNÁNDEZ, M. (1993): *Los Orígenes de la Civilización. El Calcolítico en el Viejo Mundo*, Síntesis, Madrid.
- DIAS, J. M. A., BOSKI, T., RODRIGUES, A. y MAGALHÃES, F. (2000): "Coast line evolution in Portugal since the last glacial maximum until present. A synthesis", *Marine Geology* 170, pp. 17-186.
- ESSALHI, M., SIZARET, S., BARBANSON, L., CHEN, Y., LAGROIX, F., DEMORY, F., NIETO, J. M., SÁEZ, R. y CAPITÁN, M. A. (2011): "A case study of the internal structures of gossans and weathering processes in the Iberian Pyrite

- Belt using magnetic fabrics and paleomagnetic dating”, *Mineralium Deposita* 46, pp. 981-999.
- FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C. (2008): “Una Aproximación al conocimiento del impacto ambiental de la minería en la Faja Pirítica Ibérica”, *Macla* 10, pp. 24-28.
- FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C., RUIZ, F. y GALÁN, E. (1997): “Clay mineral and heavy metal distributions in the lower estuary of Huelva and adjacent Atlantic shelf”, *Science of the Total Environment* 198, pp. 181-200.
- FERRARI, C. P., HONG, S. y BOUTRON, C. F. (1999): “Ice archives of atmospheric pollution from mining and smelting activities during antiquity”, *Metals in Antiquity* (Young, S. M. M., Pollard, A. M., Budd, P. y Ixer, A., eds.), BAR International Series 792, Oxford, pp. 211-217.
- FLETCHER, W. (2005): *Holocene landscape history of southern Portugal*, University of Cambridge, Tesis Doctoral.
- FLETCHER, W. J., BOSKI, T. y MOURA, D. (2007): “Palynological evidence for environmental and climatic changes in the lower Guadiana valley (Portugal) during the last 13,000 years”, *The Holocene* 17, pp. 479-492.
- GARCIA, C. (2008): *Cacela, Terra de Levante. Memórias da Paisagem Algarvia*, Câmara de Vila Real de Santo António / Campo Arqueológico de Mértola.
- GILLS, B. K. (1995): “Capital and power in the processes of world history”, *Civilisation and World Systems. Studying World-Historical Change* (Sanderson, S., ed.), Altamira Press, Walnut Creek, pp. 136-162.
- GILLS, B. K. y FRANK, A. G. (1993): “World system cycles, crises, and hegemonic shift, 1700 BC to 1700 AD”, *The World System. Five hundred year or five thousand?* (Frank, A. G. y Gills, B. K., eds.), Routledge, London, pp. 143-199.
- GILMAN, A. (1991): “Trajectories toward social complexity in the Later Prehistory of the Mediterranean”, *Chiefdoms: Power, Economy and Ideology* (Earle, T., ed.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 146-168.
- GILMAN, A. (1996): “Craft specialization in Late Prehistoric Mediterranean Europe”, *Craft Specialization and Social Evolution: In memory of V. Gordon Childe* (Wailes, B., ed.), University Museum, University of Pennsylvania, Philadelphia, pp. 67-72.
- GÓMEZ-ARIZA, J. L., GIRALDEZ, I. y MORALES, E. (2000): “Temporal fluctuations of tributyltin in the bivalve *Venerupis decussate* at five stations in south-west Spain”, *Environmental Pollution* 108, pp. 279-290.
- GONÇALVES, V. (1989): *Megalitismo e Metalurgia no alto Algarve Oriental, Uma aproximação integrada*, UNIARCH, Lisboa.
- GONZÁLEZ-VILA, F. J., POLVILLO, O., BOSKI, T., MOURA, D. y DE ANDRES, J. R. (2003): “Biomarker patterns in a time-resolved Holocene / terminal Pleistocene sedimentary sequence from the Guadiana river estuarine area (SW Portugal / Spain border)”, *Organic Geochemistry* 34 (12), pp. 1601-1613.
- GRATTAN, J. P., GILBERTSON, D. D. y HUNT, C. O. (2007): “The local and global dimensions of metalliferous pollution derived from a reconstruction of an eight thousand year record of copper smelting and mining at a desert-mountain frontier in southern Jordan”, *Journal of Archaeological Science* 34, pp. 83-110.
- HADLEY, R. F. y SNOW, D. T. (1974): *Water Resources Problems Related to Mining*, American Water Resources Association, Minnesota.
- HWANG, H. M., GREEN, P. y YOUNG, T. (2009): “Historical trends of trace metals in a sediment core from a contaminated tidal salt marsh in San Francisco Bay”, *Environmental Geochemistry and Health* 31 (4), pp. 421-430.
- INÁCIO, N., CALADO, D., NOCETE, F., CURATE, F., OLIVEIRA, C., PERAMO, A. y BAYONA, M. R. (2008): “Pre-historia e Megalitismo na região de Cacela. Uma proposta integrada de investigação, valorização e protecção do património arqueológico”, *XELB* 8, pp. 61-74.
- INÁCIO, N., NOCETE, F., CALADO, D., CURATE, F., NIETO, J. M., BAYONA, M. R. y OLIVEIRA, C. (2010): “O Túmulo Megalítico de Santa Rita (Vila Nova de Cacela). Resultados preliminares de um processo de investigação em curso”, *XELB* 10, pp. 73-86.
- INÁCIO, N., NOCETE, F., NIETO, J. M., SÁEZ, R., BAYONA, M. R., PERAMO, A. y ABRIL, D. (e.p.): “Caracterização e proveniência dos pigmentos vermelhos utilizados nos monumentos megalíticos do sotavento algarvio: resultados preliminares”, *XELB* 11.
- KEMPTER, H. y FRENZEL, B. (2000): “The impact of early mining and smelting on the local tropospheric aerosol detected in ombrotrophic peat bogs in the Harz, Germany”, *Water Air Soil Pollution* 121, pp. 93-108.

- LEBLANC, M., MORALES, J. A., BORREGO, J. y ELBAZ-POULICHET, F. (2000): "4500 Year-old pollution in south-western Spain: long-term implications for modern mining pollution", *Economic Geology* 95 (2000), pp. 655-662.
- LEISTEL, J. M., MARCOUX, E., THIÉBLEMONT, D., QUESADA, C., SÁNCHEZ, A., ALMODÓVAR, G. R., PASCUAL, E. y SÁEZ, R. (1998): "The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. Review and preface to the Special Issue", *Mineralium Deposita* 33, pp. 2-31.
- MARTÍN DE LA CRUZ, J. C. (1987): *Papa Uvas II. Aljaraque. Huelva. Campañas de 1981 a 1983*, Excavaciones Arqueológicas en España 149, Madrid, Ministerio de Cultura.
- MARTÍNEZ-CORTIZAS, A., PONTEVEDRA-POMBAL, X., GARCÍA-RODEJA, E., NOVOA-MUÑOZ, J. C. y SHOTYK, W. (1999): "Mercury in a Spanish peat bog: archive of climate change and atmospheric metal deposition", *Science* 284, pp. 939-942.
- MARTÍNEZ-CORTIZAS, A., COSTA-CASAS, M. y LÓPEZ-SÁEZ, J. A. (2009): "Environmental change in NW Iberia between 7000 and 500 cal BC", *Quaternary International* 200, pp. 77-89.
- MIGHALL, T. M. (2003): "Geochemical monitoring of heavy metal pollution and prehistoric mining: evidence from Copa Hill, Cwmystwyth, and Mount Gabriel, County Cork", *Mining and Metal Production, Through The Ages* (Cradock, P. y Lang, J., eds.), The British Museum Press, London, pp. 43-52.
- MIGHALL, T. M., ABRAHAMS, P. W., GRATTAN, J. P., HAYES, D., TIMBERLAKE, S. y FORSYTH, S. (2002): "Geochemical evidence for atmospheric pollution derived from prehistoric copper mining at Copa Hill, Cwmystwyth, mid-Wales, UK", *Science of the Total Environment* 292, pp. 69-80.
- MIGHALL, T. M., TIMBERLAKE, S., JENKINS, D. A. y GRATTAN, J. P. (2006): "Using bog archives to reconstruct paleopollution and vegetation change during the late Holocene", *Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climate Changes* (Martini, I. P., Martínez, A. y Chesworth, W., eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 409-429.
- MILLER, J. R. y LECHLER, P. J. (1998): "Mercury Partitioning within Alluvial sediments of the Carson River Valley, Nevada: Implications for Sampling Strategies in Tropical Environments", *Environmental geochemistry in the tropics* (Wasserman, J. C., Silva-Filho, E. V. y Villas-Boas, R., eds.), Springer, New York.
- MOLINA, F. y CÁMARA, J. A. (2005): *Guía del yacimiento arqueológico de Los Millares*, Consejería de Cultura, Sevilla.
- MONTERO, I. (1993): "Bronze Age metallurgy in Southeast Spain", *Antiquity* 67, pp. 46-57.
- MORALES, J. A. (1997): "Evolution and facies architecture of the mesotidal Guadiana River delta (S. W. Spain-Portugal)", *Marine Geology* 138, pp. 127-148.
- MORÁN, E. y PARREIRA, R. (2003): "O povoado calcítico de Alcalar (Portimão) na paisagem cultural do Alvor no III Milénio antes de nossa era", *Recintos Murados da Pre-História recente*, (Jorge, S. O., coord.), Porto, pp. 307-327.
- MORÁN, E. y PARREIRA, R. (2004): *Alcalar 7. Estudo e Reabilitação de um Monumento Megalítico*, I.P.P.A.R., Lisboa.
- NIETO, J. M., NOCETE, F. y SÁEZ, R. (2001): "Primeros indicios del drenaje ácido y contaminación por metales en la cuenca del río Odiel", *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 24, pp. 109-110.
- NIETO, J. M., SARMIENTO, A. M., OLÍAS, M., CANOVAS, C. R., RIBA, I., KALMAN, J. y DELVALLS, A. (2007): "Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel rivers (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) and bioavailability of the transported metals to the Huelva Estuary", *Environmental International* 33, pp. 445-455.
- NOCETE, F. (2001): *Tercer Milenio antes de nuestra era. Relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*, Bellaterra, Barcelona.
- NOCETE, F. (coord.) (2004): *Odiel. Proyecto de investigación arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el Suroeste de la Península Ibérica*, Monografías de Arqueología 19, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F. (2006): "The first specialised copper industry in the Iberian Peninsula: Cabezo Juré (2900-2200 BC)", *Antiquity* 80, pp. 646-654.
- NOCETE, F. (coord.) (2008): *El yacimiento de La Junta de los Ríos*, Monografías de Arqueología 29. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F., LIZCANO, R., ORIHUELA, A., OTERO, R., ESCALERA, P., PARRALES, F. y ROMERO, J. C. (1999a): "I campaña de excavación arqueológica de Cerro Juré (Alosno, Huelva)", *Anuario Arqueológico de Andalucía 1994* (II), pp. 86-92, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.

- NOCETE, F., ESCALERA, P., LIZCANO, R., ORIHUELA, A., OTERO, R., ROMERO, J. C. y SÁEZ, R. (1999b): “Estudio del material arqueológico de la primera campaña de excavación de C. Juré (Alosno, Huelva), Proyecto ODIEL”, *Anuario Arqueológico de Andalucía 1994* (II), pp. 93-104, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F., LIZCANO, R., LINARES, J. A., ESCALERA, P., ORIHUELA, A., PÉREZ, J.M., RODRÍGUEZ, M., GARRIDO, N., AQUINO, N., ALCÁZAR, J. M. y ÁLEX, E. (2001): “Segunda campaña de excavación arqueológica sistemática en el yacimiento de Cabezo Juré (Alosno, Huelva)”, *Anuario Arqueológico de Andalucía 1997* (II), pp. 107-111, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F., SÁEZ, R., NIETO, J. M., CRUZ-AUÑÓN, R., CABRERO, R., ÁLEX, E. y BAYONA, M. R. (2005a): “Circulation of silicified oolitic limestone blades in South-Iberia (Spain and Portugal) during the third millennium B.C.: an expresión of a core/periphery framework”, *Journal of Anthropological Archaeology* 24, pp. 62-81.
- NOCETE, F., ALEX, E., NIETO, J. M., SÁEZ, R. y BAYONA, M. R. (2005b): “An Archaeological approach to regional environmental pollution in the south-western Iberian Peninsula related to Third millennium BC mining and metallurgy”, *Journal of Archaeological Science* 32, pp. 1566-1576.
- NOCETE, F., BAYONA, M. R., LIZCANO, R., MARTÍN, D., CÁMALICH, M.<sup>a</sup> D., ORIHUELA, A., ÁLEX, E. e INÁCIO, N. (2005c): *Andévalo, Patrimonio Arqueológico. El yacimiento de La Junta de los Ríos. Modelo de recuperación, análisis e interpretación del registro arqueológico en la Presa del Andévalo —Huelva—*, Ministerio de Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Guadiana, Madrid.
- NOCETE, F., ÁLEX, E., NIETO, J. M., SÁEZ, R. y BAYONA, M. R. (2006): “Intensidad e intensificación en la primera minería y metalurgia del cobre especializada de la Península Ibérica (III Milenio A.N.E.): La identificación arqueológica de un proceso regional de deforestación y polución”, *RAMPAS* 7, pp. 33-49. Servicio de Publicaciones, Universidad de Cádiz.
- NOCETE, F., QUEIPO, G., SÁEZ, R., NIETO, J. M., INACIO, N., BAYONA, M. R., PERÁMO, A., VARGAS, J. M. y CRUZ-AUÑÓN, R. (2008): “The smelting quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the specialised copper industry in a political centre of the Guadalquivir Valley during the Third millennium BC (2750-2500 BC)”, *Journal of Archaeological Science* 35, pp. 717-732.
- NOCETE, F., BAYONA, M. R., CÁMALICH, M.<sup>a</sup> D., MARTÍN, D., LIZCANO, R., INÁCIO, N., PERÁMO, A., ABRIL, D. y ORIHUELA, A. (2009): “Segunda campaña de excavación arqueológica (2004) en el yacimiento de La Junta de los Ríos (Puebla de Guzmán, Huelva)”, *Anuario Arqueológico de Andalucía 2004*, I, pp. 1824-1841, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F., LIZCANO, R., PERÁMO, A. y GÓMEZ, E. (2010): “Emergence, collapse and continuity of the first political system in the Guadalquivir Basin from the fourth to the second millennium BC: the long-term sequence of Úbeda (Spain)”, *Journal of Anthropological Archaeology* 29, pp. 219-237.
- NOCETE, F., SÁEZ, R., BAYONA, M. R., PERÁMO, A., INACIO, N. y ABRIL, D. (2011): “Direct chronometry (14C AMS) of the earliest copper metallurgy in the Guadalquivir Basin (Spain) during the Third millennium BC: First Regional Database”, *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 3278-3295.
- OLÍAS, M. y NIETO, J.M. (2012): “El impacto de la minería en los ríos Tinto y Odiel a lo largo de la Historia”, *Revista de la Sociedad Geológica de España* 25 (3-4), pp. 177-192.
- OLÍAS, M., CÁNOVAS, C., NIETO, J. M. y SARMIENTO, A. M. (2006): “Evaluation of the dissolved contaminant load transported by the Tinto and Odiel rivers (South West Spain)”, *Applied Geochemistry* 21, pp. 1733-1749.
- PERÁMO, A. y NOCETE, F. (2010): *Plan de actuación sobre el megalitismo de la Cuenca Minera de Huelva*, Consulcom Ediciones, Huelva.
- PÉREZ, J. C. (1989): *Introducción a los moluscos onubenses: I faunística*, Junta de Andalucía, Agencia de Medio Ambiente, Huelva.
- PONTEVEDRA-POMBAL, X., MIGHALL, T. M., NÓVOA-MUÑOZ, J. C., PEITEADO-VARELA, E., RODRÍGUEZ-RACEDO, J., GARCÍA-RODEJA, E., MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. (2013): “Five thousand years of atmospheric Ni, Zn, As, and Cd deposition recorded in bogs from NW Iberia: prehistoric and historic anthropogenic contributions”, *Journal of Archaeological Science* 40, pp. 764-777.

- ROTHENBERG, B. (1990): *The Ancient Metallurgy of Copper. Researches in the Arabah 1959-1984*, vol. 2, Institute for Archaeo-metallurgical Studies, Institute of Archaeology, University College, London.
- ROVIRA, S. (2002): "Metallurgy and society in Prehistoric Spain", *Metals and Society* (Otaway, B. S. y Wager, E. C., eds.), BAR International Series 10061, pp. 5-20, Oxford.
- RUIZ, C. (2010): "La Calidad del Agua de los Ríos Tinto y Odiel. Evolución Temporal y Factores Condicionantes de la Movilidad de los Metales", *Macla* 12, pp. 64-66.
- SÁEZ, R., PASCUAL, E., TOSCANO, M. y ALMO-DÓVAR, G. R. (1999): "The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits", *Mineralium Deposita* 34, pp. 549-570.
- SÁEZ, R., NOCETE, F. NIETO, J. M., CAPITÁN, M.<sup>a</sup> A. y ROVIRA, S. (2003): "The extractive metallurgy of copper from Cabezo Juré, Huelva, Spain: Geochemical and mineralogical study of slags dated to the Third Millennium B.C.", *The Canadian Mineralogist* 41, pp. 627-638.
- SHOTYK, W., WEISS, D., APPLEBY, P. G., CHEBURKIN, A. K., FREI, R. y GLOOR, M. (1998): "History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP from a peat bog, Jura Mountains Switzerland", *Science* 281, pp. 1635-1640.
- SOARES, A. M. M., ARAÚJO, M. F. y CABRAL, J. M. P. (1994): "Vestígios da prática de metalurgia em povoados calcolíticos da bacia do Guadiana, entre o Ardila e o Chança", *Arqueología en el entorno del Bajo Guadiana* (Campos, J. M., Pérez, J. A. y Gómez, F., eds.), pp. 165-200.
- VAN GEEN, A., ADKINS, J. F., BOYLE, E. A., NELSON, C. H. y PALANQUÉS, A. (1997): "A 120-yr record of widespread contamination from mining of the Iberian Pyrite Belt", *Geology* 25, pp. 291-294.
- VARGAS, J. M. (2003): "Elementos para la definición territorial del yacimiento prehistórico de Valencina de la Concepción (Sevilla)", *SPAL* 12, pp. 125-144.
- VEIGA, E. (1881): *Antiguidades Monumentais do Algarve*, Lisboa.
- WERTIME, T. A. (1983): "The furnace versus the goat: The pyrotechnologic industries and Mediterranean deforestation in antiquity", *Journal of Field Archaeology* 10,4, pp. 445-452.
- YOUNGER, P. L. (2000): "Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation", *Journal of Contaminant Hydrology* 44, pp. 47-69.

